

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ СРЕДНЕ УГОЛЬНОЙ СТАЛИ С ЭФФЕКТОМ TRIP

## THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE MICROSTRUCTURE OF MEDIUM CARBON STEEL WITH TRIP EFFECT

КУХАРСКА МОНИКА ГРИГОРЬЕВНА

Ченстоховский технологический университет

Институт обработки металлов давлением и инженерии безопасности

Ал. Армии Крайовой 19, 42-200 Ченстохова, Польша

e-mail: [mkucharska@wip.pcz.pl](mailto:mkucharska@wip.pcz.pl)

### Abstract

The influence of parameters of two stage heat treatment process on microstructure steel with TRIP effect with 0,4% carbon content has been presented in the work.

Suitable selected parameters of first and second stage heat treatment process as temperature and time allows to obtaining the structure with proper quantity of metastable retained austenite, which determines TRIP effect and which is directly responsible for the advantageous correlation between the mechanical and plastic properties of receiving material.

### Введение

В группе многофазных сталей, очень интересными являются стали у которых выступает феррито–бейнитная структура с метастабильным остаточным аустенитом, который переходит мартенситное изменение во время технологического формирования продуктов, это так называемые стали с эффектом TRIP [1].

Чтобы получить определенную структуру стали с эффектом TRIP, обладающую определенными механическими свойствами надо провести двухэтапную термообработку, в которой состав входит отжиг в двухфазовой аустенитно-ферритную области а также прогревание в области изменения бейнита.

Вследствие проведенной таким образом термообработки можно получить стал о многофазовой структуре, в состав которой входит феррит, бейнит и остаточный аустенит, которого количество и стабильность в значительной степени детерминируют свойства полученного материала. Научная литература подчеркивает, что самые благоприятные механические свойства получаются

в случае стали TRIP при возможно большом содержании остаточного аустенита [2].

Такая многофазовая структура стали приводит к трудностям в подготовке материала к микроскопному наблюдению, так как указание отдельных фазовых компонентов требует применения определенных методов травления. Классические техники травления применяемые в исследованиях микроструктур стали позволяют на одновременное наблюдение какого-то ограниченного количества фаз [3]. Поэтому вместе с развитием специфических микроструктур появились разные методы травления, среди которых химическое травление является несомненно самым лёгким и наиболее употребляемым методом [3].

В работе представлено анализ микроструктур стали с эффектом TRIP при применении разных техник травления.

### Собственные исследования

Материалом для исследований была катанка диаметром 6,30 мм из стали средне угольной, которой химический состав представлено в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав исследуемой стали, % массы

C	Mn	Si	Cr	V	Al	N	Mo	Ni
0,431	1,470	1,363	0,100	0,001	0,050	0,007	0,001	0,129

Материал после процесса прокатки характеризовался типичной феррито–перлитной структурой (рис. 1).

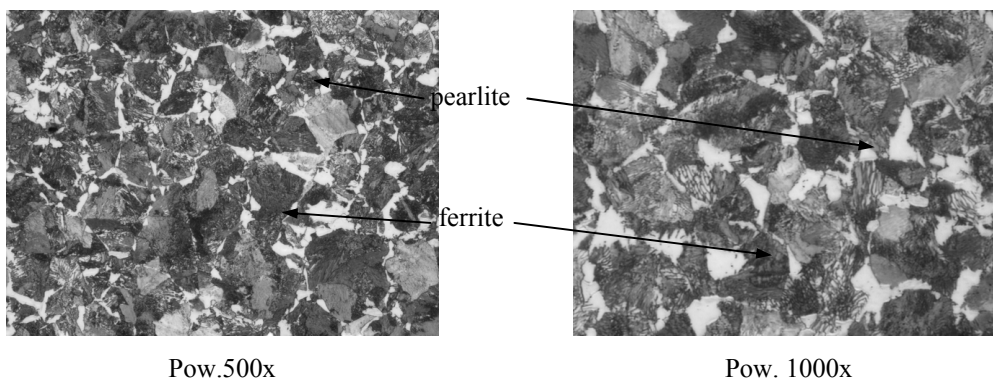


Рис.1. Катанка после процесса прокатки

Чтобы получить структуру с эффектом TRIP необходимо провести двухступенную термообработку.

Опираясь на химический состав исследуемой стали определено температуру фазовых изменений, при помощи программы TT STEEL. Полученный график СТР<sub>c</sub> представлено на рис. 2.

Чтобы определить время и температуру отжига в двухфазовой аустенитно-ферритной

области, включающего первый этап термообработки, необходимым являлось проведение дилатометрических исследований, в результате которых получено кривую дилатометрическую (рис. 3).

Опираясь на кривую дилатометрическую определено температуру  $A_{C1}=718\text{ }^{\circ}\text{C}$  а также  $A_{C3}$  составляющую  $810\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

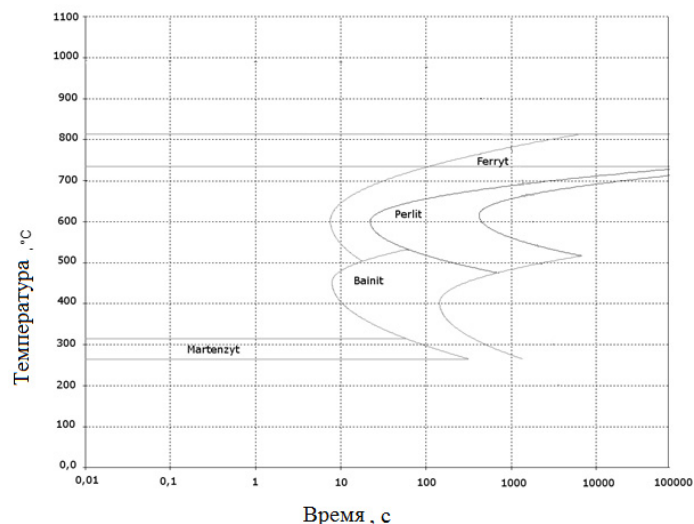


Рис.2. График СТР<sub>c</sub> исследуемой стали, определен опираясь на химический состав

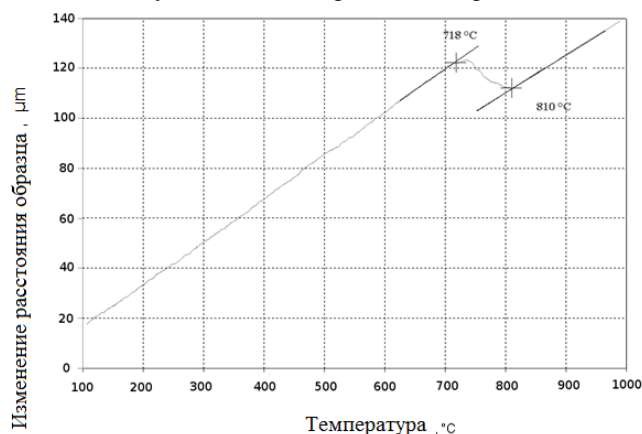


Рис. 3. Кривая дилатометрическая исследуемой стали

Опираясь на график СТР<sub>c</sub> и температуру начала и конца изменения аустенита ( $A_{C1}$  и  $A_{C3}$ ) исследуемой стали, определено параметры отжига в двухфазовой аустенитно-ферритной области. Согласно данным находящим в литературе [4-6],

температура отжига в диапазоне  $\alpha$ - $\gamma$  должна находится в диапазоне между температурой  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$ . В связи с тем определено 4 варианта первого этапа термообработки для температур  $760^{\circ}\text{C}$  и  $780^{\circ}\text{C}$  и времени выдержки 240 и 300 с.

Таблица 2. Параметры отжига в двухфазовом аустенитно-ферритном диапазоне

Номер варианта термообработки	Отжиг в двухфазовом аустенитно-ферритном диапазоне	
	Температура, °C	Время, с
1	760	240
2	760	300
3	780	240
4	780	300

Исследования проведено в лабораторных условиях в dilatометре DIL 805 на A/D. Применено образцы которых размера составляли  $\varnothing 5 \times 10$  мм. После выдержки в температуре отжига в двухфазовом диапазоне, структура образцов была заморожена. Примерные микроструктуры содержащие феррит и аустенит представлено на рис. 4.

Опираясь на металлографические исследования, для определенных вариантов термообработки, констатировано что с точки

зрения полученного максимального количества остаточного аустенита в определенной структуре, самые благоприятные параметры отжига в диапазоне  $\alpha$ - $\gamma$  это: температура составляющая 760°C и время составляющие 300 с.

Чтобы получить ожидаемую структуру стали с эффектом TRIP, в которой состав входит феррит, бейнит, остаточный аустенит, необходимо было проведение второго этапа термообработки, охватывающего прогревание в диапазоне изменения бейнита.



а.) 760°C – 300с



б.) 780°C – 300с

Рис.4. Микроструктура катанки из стали средне угольной после отжига в аустенитно-ферритном диапазоне.

Катанку после отжига в двухфазовом аустенитно-ферритном диапазоне, охлаждено при скорости около 70°C/с до температуры в которой происходит изменение бейнита. Согласно литературе, самым благоприятным диапазоном температур этого изотермического прогревания являются диапазон от 350 °C до 500 °C, зато время выдержки составляют от 2 до 5 минут [7]. Пользуясь данными найденными в литературе и графиком  $СТР_c$  определено температуру составляющую 440°C. Во время этого этапа исследований модифицировано только время выдержки катанки в диапазоне изменения бейнита. Сопоставление

температур и времени выдержки представлено в таблице 2.

Цель проведенной термообработки заключается в получении катанки с эффектом TRIP с максимальным содержанием остаточного аустенита в структуре.

Материал после термообработки подвергнул металлографическим исследованиям, проведенным при употреблении оптического микроскопа Nikon MA 200.

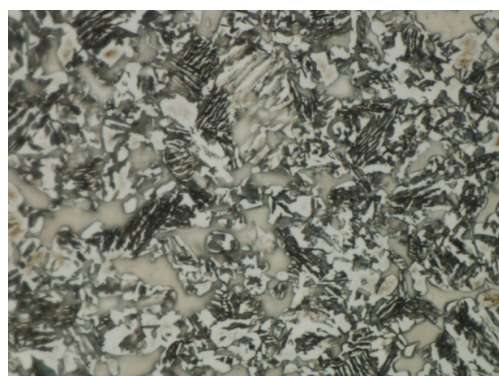


Таблица 2. Параметры термообработки

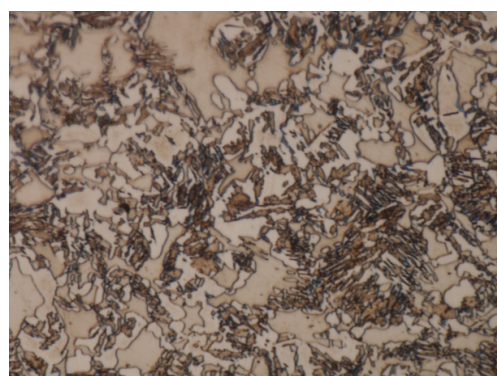
Номер варианта термообработки	Отжиг в двухфазовом аустенитно-ферритном диапазоне		Прогревание в диапазоне изменения бейнита	
	Температура, °C	Время, с	Температура, °C	Время, с
1	760	300	440	60
2	760	300	440	120
3	760	300	440	180
4	760	300	440	240
5	760	300	440	300

Приготовленные из катанки образцы подлежали травлению при употреблении разных реактивов, благодаря которым возможным

являлось наблюдение многофазовой структуры стали с эффектом TRIP – это представлено на рис. 5.



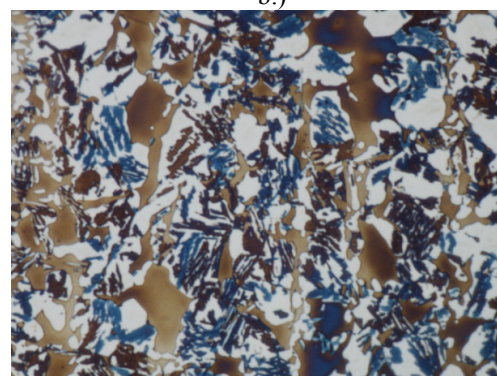
a.)



b.)



c.)



d.)

Рис.5. Микроструктура катанки из средне угольной стали с эффектом TRIP вытравленной: а.) 10% пиросульфитом натрия, б.) реактивом Beraha, с.) реактивом LePer'a, d.) реактивом Klemm'a; увеличение 1000х, остаточный аустенит – белый.

Количество остаточного аустенита, определено опираясь на анализ микроструктуры с использованием точечного метода и опираясь на дилатометрический анализ, проведенный при

использовании рентгеновского дилатометра XRD 3003 T-T фирмы Sefert. Результаты полученные во время этих исследований представлено в таблице 3 и на чертеже 6.

Таблица 3. Объемное участие (доля) остаточного аустенита

	Вариант термообработки				
	1	2	3	4	5
Количество остаточного аустенита, %-точечный метод	21,20	23,17	28,69	29,82	25,72
Количество остаточного аустенита, % - дифракция рентгеновских лучей	20,00	22,00	27,00	28,00	24,00

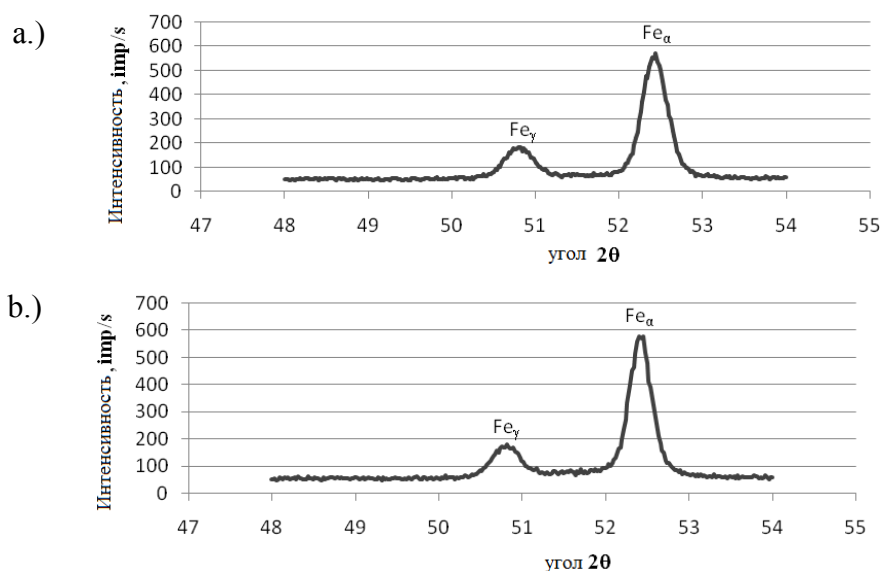


Рис. 6. Фазовой график дифракция рентгеновских лучей исследуемой стали,  
 а.) термообработка проведена согласно варианту 3,  
 б.) термообработка проведена согласно варианту 4

В результате проведенных исследований определено самый благоприятный вариант термообработки средне угольной стали, в котором время отжига в двухфазовом диапазоне  $\alpha$ - $\gamma$  при температуре 760 °С составляли 300 с, а время прогрева в диапазоне изменения бейнита при температуре 440 °С составляли 240 с. В структуре катанки обработанной согласно этим параметрам, получено самое большое количество остаточного аустенита - 29,82% согласно точечному методу и 28,00% согласно анализу рентгеновских лучей.

#### Подведение итогов

1. Проведение двухэтапной термообработки катанки из средне угольной стали позволяет получить сталь с эффектом TRIP.
2. Прогревание исследуемой стали в диапазоне изменения бейнита, в температуре 440 °С через 240 с, позволяет получить структуры типа TRIP, которая обладает максимальным количеством остаточного аустенита.
3. Увеличение времени выдержки в диапазоне изменения бейнита до 300 с приводит к уменьшению количества остаточного аустенита за счёт увеличения объемного участия бейнита и мартенсита в исследуемой стали.
4. Сокращение времени прогрева в диапазоне бейнита приводит к уменьшению объемного участия остаточного аустенита в структуре и приводит к увеличению количества мартенсита. Это приводит к уменьшению стабильности аустенита, что может приводит к появлению эффекта TRIP при небольших деформациях.

#### Библиография:

1. Grajcar A.: Struktura stali C-Mn-Si-Al kształtowana z udziałem przemiany martenzytycznej indukowanej odkształceniem plastycznym, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
2. Godet S., Harlet P., Delannay F., Jacques P.J.: Effect of hot-rolling conditions on the tensile properties of multiphase steels exhibiting a TRIP effect., TRIP – Int. Conf. on TRIP Aided High Strength Ferrous Alloys, GRIPS – Proceeding, Ghent, Belgium, Germany, 2002.
3. Girault E. i in.: Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructure of TRIP-Assisted Steels, Materials Characterization nr 40, New York 1998
4. Sakuma Y., Matsumura O., Akisue O.: Influence of C content and annealing temperature on microstructure and mechanical properties of 400°C transformed steel containing retained austenite. ISIJ International, Vol.31, 1991.
5. Matsumura O., Sakuma Y., Takechi H.: Enhancement of elongation by retained austenite in intercritical annealed 0.4C-1.5Si-0.8Mn steel. Transactions ISIJ, Vol.27, 1987.
6. Sakuma Y., Matlock D.K., Krauss G.: Mechanical behavior of an intercritically annealed and isothermally transformed low C alloy steel with ferrite-bainite-austenite microstructures. J.Heat Treat., Vol. 8, 1990.
7. Wiewiórska S.: Analiza teoretyczno – eksperymentalna procesów ciągnięcia nowej generacji drutów ze stali TRIP, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011
8. Dimatteo A. i in.: Microstructures and properties of Transformation Induced Plasticity steels, La metalurgia italiana 11-12/2006, s. 37-41

*Автором настоящей работы является  
 Стипендиантка проекта "DoktorIS –  
 Стипендиальная программа в пользу инновационной  
 Силезии" софинансированный Европейским Союзом в  
 рамках Европейского общественного фонда*